

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АГРЕГАТ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

А.А. Ашихмин<sup>1</sup>, Г.М. Дружинин<sup>1</sup>, А.Б. Попов<sup>1</sup>, И.М. Хамматов<sup>2</sup>,  
В.А. Чистополов<sup>2</sup>, Н.Б. Лошкарев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической  
теплотехники» (ОАО «ВНИИМТ») (г. Екатеринбург, Россия)

<sup>2</sup>ООО НПФ «Горелочный центр» (г. Екатеринбург, Россия)

<sup>3</sup>ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»  
(г. Екатеринбург, Россия)

На многих машиностроительных и металлургических предприятиях возникает потребность в термообработке мелких партий, а подчас и единичных изделий различного назначения. ОАО «ВНИИМТ» разработал полностью автоматизированный агрегат для термообработки до 500 кг стальных изделий различной формы. Агрегат предназначен для проведения технологических операций нагрева, закалки или нормализации, а также отпуска или аустенизации изделий из различных марок сталей.

**Ключевые слова:** термообработка, автоматизация, нормализация, отжиг, отпуск, нагревательная печь.

*In many engineering and metallurgical enterprises there is a need in the heat treatment of small parties, and sometimes individual products for different purposes. JSC «VNIIMT» has developed a fully automated plant for heat treatment up to 500 kg of steel products of various shapes. The unit is designed for manufacturing operations heating, hardening or normalizing and tempering or austenitizing products from different steel grades.*

**Keywords:** heat treatment, automation, standardization, austenitizing, annealing, tempering, heating furnace.

Агрегат для термообработки, схема которого показана на рис. 1, включает в себя телескопический толкатель, стол загрузки, нагревательную печь, закалочную ванну и стол выгрузки.

Вид автоматизированного агрегата для термообработки, установленного в цехе одного из заводов, показан на рис. 2.

Стол загрузки предназначен для установки оператором специального поддона или корзины с изделиями перед их посадкой в печь. Изделия укладывают либо на поддон, либо в корзинах навалом.

Для перемещения поддона с изделиями (или корзины) в агрегате применяется толкатель. В целях уменьшения габаритов толкатель, по своему конструктивному оформлению, выполнен телескопическим. Основная толкающая ступень – роликовая – выполнена в виде квадратной трубы (сечением 140×140 мм), перемещающейся на двух роликах по направляющим. Вторая ступень толкателя – винтовая – размещена внутри трубы 140×140 мм и предназначена для удлинения штанги толкателя.

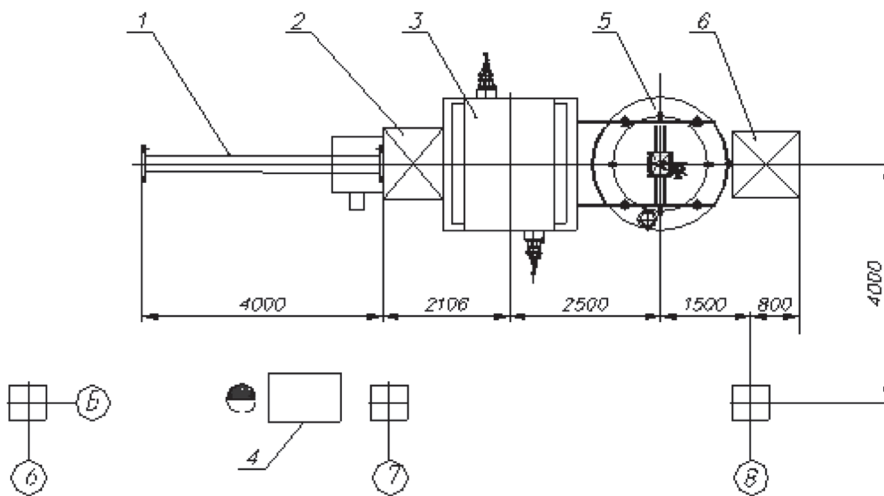


Рис. 1. План расположения оборудования:

1 – толкатель; 2 – стол загрузки; 3 – печь нагревательная; 4 – шкаф контроля и управления; 5 – закалочная ванна; 6 – стол выгрузки

Основной элемент агрегата термообработки – нагревательная печь, имеющая в плане габариты рабочего пространства  $1500 \times 1500$  мм. Футеровка стен и свода печи выполнена из керамического волокна (Модули Z-block размером  $300 \times 300 \times 350$  мм) с температурой применения до  $1300^\circ\text{C}$ . Под печи футерован шамотным кирпичом ШЛ. Снаружи печь облицована листовой сталью толщиной 6 мм, закрепленной на вертикальных стойках.

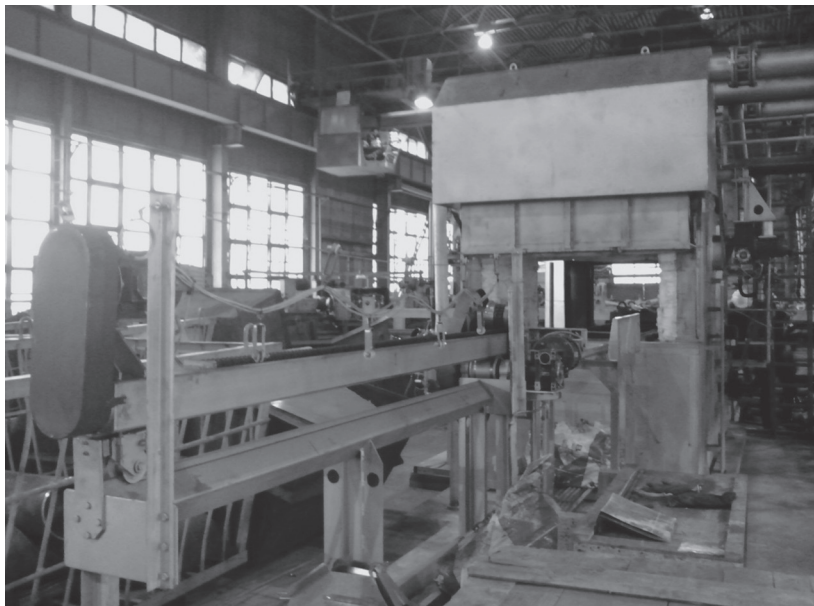


Рис. 2. Вид агрегата закалки со стороны загрузочного окна

Нагревательная печь имеет два окна для загрузки поддона в печь и выгрузки (с противоположной стороны печи), оборудованных заслонками с электрическими приводами. Электродвигатели, тяги и опоры приводов размещены на противоположных боковых стенках печи.

Поддоны с изделиями проталкиваются через печь по двум направляющим из жаропрочной стали.

Система отопления печи построена на базе двух автоматизированных скоростных рекуперативных горелках REKUMAT M150B фирмы WS (Германия) тепловой мощностью 49 кВт каждая. Горелки установлены на боковых стенах печи. На правой по ходу металла стороне – над садкой, на левой – ниже направляющих, по которым осуществляется перемещение поддонов. При работе горелок в рабочем пространстве печи образуется циркуляционный контур продуктов сгорания, что обеспечивает выравнивание полей температуры в печи. Горелки работают в импульсном режиме (включено-выключено), снабжены блоками управления и безопасности, обеспечивающими автоматический розжиг и отключение горелок в случае возникновения аварийной ситуации или погасания пламени.

Воздух на горелки и эжектор, для удаления продуктов сгорания через рекуператор, подается от вентилятора высокого давления HRD 60/4 ( $P = 10$  кПа).

Закалочная ванна имеет цилиндрический корпус диаметром 2200 мм и высотой 2420 мм, на крышке которого смонтирован винтовой механизм подъема-опускания поддона с изделиями, приводимый в действие с помощью электродвигателя. Изнутри корпус ванны покрыт водостойкой эмалью. На корпусе имеются два окна размерами 1400×800 мм, через которые сначала поддон с деталями с помощью толкателя устанавливается на стол загрузки – платформу из труб  $\varnothing 57 \times 3,5$  мм, платформа опускается в закалочную ванну, затем поднимается, и через другое окно тем же толкателем поддон выдается на стол выгрузки. При поднятии и опускании платформы с поддоном одновременно поднимаются и опускаются защитные шторы на окнах корпуса. На крышке закалочной ванны имеется патрубок  $D_y 200$  для отвода пара и воздуха.

Автоматика агрегата для термообработки состоит из двух систем: автоматики «Теплового режима» и автоматики «Механизмов». Работа каждой системы обеспечивается своим микроконтроллером Logo! (Siemens). Визуализация операций происходит с помощью информационных текстовых панелей Logo!TD на местном шкафу управления. Совместная работа и синхронизация систем поддерживается через обмен командами их программ.

Автоматика «Теплового режима» управляет нагревом печи с текущей температуры до конечной 580–1100 °С с необходимой скоростью 150–300 °С/ч, обеспечивает выдержку при конечной температуре в течении заданного времени 30–90 мин, и последующее охлаждение печи до начальной (задаваемой) температуры 0–300 °С.

Автоматика механизмов обеспечивает функционирование пяти механизмов агрегата закалки (роликовый и винтовой толкатели, заслонки загрузки и выгрузки печи, и погружной стол ванны закалки) и управление в автоматическом или ручном режимах.

В зависимости от задач термообработки (отпуск, нормализация или закалка) этап выгрузки может проходить по двум сценариям: закалка с окутанием поддона в ванну, а также отпуск или нормализация с выгрузкой поддона из печи сразу на стол разгрузки. Техническая характеристика агрегата для термической обработки приведена в таблице.

**Техническая характеристика агрегата**

№ п/п	Характеристика	Ед. изм.	Показатели	
			Проектные	2013 г.
1	Назначение агрегата	Проведение операций закалки, отпуска и нормализации		
2	Габариты агрегата с учетом размещения шкафа управления и стойки арматурной газовой (Ш×Д×В)	м	7,8×11,0×3,7	
3	Площадь пода печи	м²	2,25	
4	Установленная тепловая мощность печи	кВт	100	
5	Топливо		Природный газ	
6	Давление газа перед агрегатом	кПа	~35	
7	Номинальное давление газа перед горелками печи	кПа	8...9	
8	Номинальное давление воздуха перед горелками печи	кПа	9...10	
9	Дымоудаление	Через цеховую систему дымоудаления и дымовую трубу		
10	Разрежение в коллекторе, не менее	Па	10	
11	Максимальная производительность агрегата	т/мес	20	
12	Режим работы агрегата	—	Непрерывный 3-сменный	
13	Тип печи	Камерная, толкательная с двухсторонним нагревом		
14	Температура нагрева изделий	°С	До 1100 °С	
15	Способ нагрева	Открытым пламенем		

Проведенные балансовые испытания печи показали, что все заявленные показатели работы достигаются.

Перепад температур в объеме рабочего печи пространства не превышает  $\pm 5$  °С.

Абсолютный расход топлива на нагрев 500 кг металла составил 35,6 м³. Удельный расход условного топлива –  $b = 196,6$  кг у.т/т. Такое высокое значение удельного расхода топлива объясняется тем, что печь разогревалась вместе с металлом из холодного состояния и существенная доля теплоты

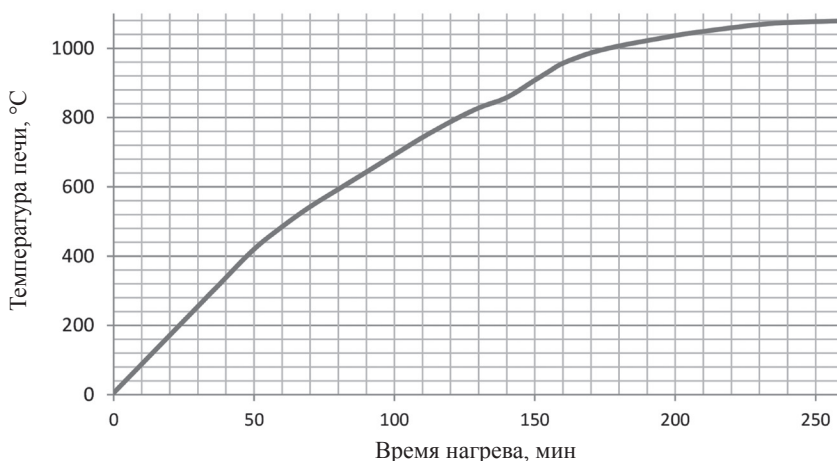


Рис. 3. Изменение температуры печи при проведении балансовых испытаний

уходила на нагрев футеровки стен и кладки пода. В условиях непрерывной круглосуточной работы, когда рабочее пространство печи при посадке в него металла разогрето от предыдущего нагрева до температуры порядка 700–750 °C, удельный расход условного топлива существенно сократится и будет составлять ~40–50 кг у.т./т.

До температуры 1080 °C садка массой 500 кг нагревается за 4 ч.

Производительность агрегата составила (с учетом времени выдержки – 30 мин)  $P = 111$  кг/ч, что при трехсменной работе составляет 2,66 т/сут.

В ходе проведения балансовых испытаний печи была определена возможная максимальная скорость разогрева печи с металлом (рис. 3).

На начальном этапе нагрева была задана скорость 500 °C/ч, система автоматического управления тепловым режимом позволяет задать любую скорость, и до температуры в печи 420 °C эта скорость нагрева выдерживалась. Затем установленной мощности горелок стало не хватать для поддержания заданной скорости, и при температуре в печи 430 °C заданная скорость была снижена до 300 °C/ч. Такая скорость поддерживалась системой отопления до температуры в печи порядка 800 °C. Затем скорость стала падать, и при температуре в печи 850 °C снизилась до 180 °C/ч. При температуре в печи 850 °C система отопления перешла в режим FLOX – режим объемного горения, и скорость нагрева снова возросла до 300 °C/ч и поддерживалась до температуры в печи 950 °C. После этого скорость нагрева стала падать и при подходе к конечной температуре нагрева 1080 °C составляла 150 °C/ч.

Надо отметить, что в целом средняя скорость разогрева печи оказалась достаточно высокой – 302 °C/ч.

Обращает на себя внимание тот факт, что при переходе на режим FLOX скорость нагрева существенно увеличилась. Возможно, что это связано с горением топлива вблизи поверхности, поскольку в режиме FLOX создаются условия, обеспечивающие наличие топлива и окислителя во всем объеме

печи и, в частности, вблизи разогретой до температуры воспламенения поверхности. Это может объясняться выдвигаемой некоторыми исследователями гипотезой об интенсификации теплообмена при струйно-факельном нагреве металла за счет поверхностного сжигания топлива. Однако для подтверждения данного предположения необходимо проведение тщательных экспериментальных исследований.

### **Выводы**

В ходе совместной работы ОАО «ВНИИМТ», ООО НПФ «Горелочный центр» и кафедрой «Теплофизика и информатика в металлургии» УрФУ разработан и построен полностью автоматизированный агрегат для термообработки партий стальных изделий.

Обследование работы агрегата, проведенное в ходе пусконаладочных работ, показало его высокую эффективность и надежность в работе.

Запуск агрегата в производство позволил решить проблемы термообработки выпускаемых предприятием изделий, повысив их прочностные свойства, сократить количество обслуживающего персонала и улучшить условия труда.